

УДК 622.691

Основные принципы и технические подходы при моделировании мобильных компрессорных установок в гидродинамических симуляторах

Линцер С.А., Урванцев Р.В.

Тюменский Индустриальный Университет (625000, Уральский федеральный округ, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Володарского, 38), e-mail: r.v.urvantsev@mail.ru

Процессы математического моделирования лежат в основе процессов разработки нефтяных и газовых месторождений. В основе движения флюида в пласте лежат законы подземной гидромеханики, но после подъёма флюида на дневную поверхность основными являются законы трубной гидромеханики. Система сбора и подготовки газа представляет собой целую сеть промысловых и технологических трубопроводов. В ряде узлов этой сети имеются агрегаты для сепарации, компримирования и т.д. В процессе проектирования разработки газовых месторождений особенно важно учитывать влияние системы сбора на итоговую добычу. Поэтому от оптимального размещения агрегатов и понимания технологического процесса их работы будет зависеть рентабельность всего проекта. Одним из таких агрегатов является мобильная компрессорная установка. Она предназначена для компримирования низконапорного газа, что приводит к увеличению накопленной добычи по месторождению. Для комплексного моделирования разработки месторождений используются коммерческие и некоммерческие программные продукты. В данной статье рассматривается проблема моделирования компрессоров и особенности их работы в различных симуляторах. Также рассматривается физика процесса компримирования газа в системе его транспорта, сбора и подготовки.

Ключевые слова: газ, гидродинамическое моделирование, модель, компрессор.

Basic principles and technical approaches for modeling the mobile compressor units in hydrodynamic simulators

Lintser S.A., Urvantsev R.V.

Tyumen Industrial University (625000, Ural Federal District, Tyumen region, Tyumen, Volodarskogo Street, 38), e-mail: r.v.urvantsev@mail.ru

The processes of mathematical modeling underlie the processes of oil and gas fields development. At the heart of fluid motion in the reservoir lie the laws of underground hydromechanics, but after the fluid lifting to the surface the main laws are pipe hydromechanics one. Gathering Network is a whole network of field and process flowlines. In a number of nodes of this network, there are units for separation, compression, etc. In the process of designing the development of gas fields, it is especially important to take into account the influence of Gathering Network on the final production. Therefore, the profitability of the entire project will depend on the optimal arrangement of units and understanding of the technological process of their operation. One such unit is a mobile compressor unit. It is designed to compress low-pressure gas, which leads to an increase in the accumulated production of the field. Commercial and non-commercial software products are used for integrating modeling of field development. This article deals with the problem of modeling compressors and the features of their work in various hydrodynamic simulators. The physics of the gas compression process in the Gathering Network is also considered.

Keywords: gas, hydrodynamic modeling, model, compressor.

Введение

В настоящее время основные технические решения при внедрении той или иной технологии на месторождении, как правило, сопровождаются предварительной оценкой на гидродинамической модели. Для построения таких моделей существует целый ряд программных продуктов компаний Schlumberger, Haliburton, Roxar, Petroleum Experts и др. В последнее время в России набирает обороты тренд на построение интегрированных моделей и оценку прогнозной добычи в связке пласт-система сбора. Подобный подход позволяет

учесть ограничения, накладываемые со стороны системы сбора и подготовки, учесть технологические ограничения и потери в трубах и агрегатах сети. Объектом внедрения технологии может являться не только пласт или скважина, но и сама сеть сбора. Поэтому для получения адекватной оценки от применения технологии необходимо учитывать влияние со стороны самой системы сбора.

Основная часть

В условиях газового месторождения для получения дополнительной добычи на завершающей стадии разработки может использоваться компримирование газа на кустовых площадках. Для этого используются мобильные компрессорные установки (МКУ) [1, 2].

Принцип работы МКУ заключается в создании разряжения на устьях газовых скважин, подключённых к компрессору. Это повышает добычу газа на отдельно взятом кусте газовых скважин в условиях низких устьевых давлений, приводит к устранению песчано-жидкостных пробок, а также позволяет сохранять необходимое давление на входе в ДКС УКПГ (поддержание давления на выходе их компрессора МКУ (на входе в шлейф) – предотвращение помпажа агрегатов ДКС). Положительным влиянием на предотвращение ледяных пробок является поддержание высокой температуры на выходе из компрессора (на входе в шлейф), что приводит к повышению температуры газа на входе в УКПГ и в случае коротких шлейфов и/или больших расходов газа по шлейфу полностью устраняет возможность образования ледяных пробок.

Т.к. МКУ является элементом наземного обустройства, то оценка эффективности её применения может осуществляться на интегрированной модели, либо на гидродинамической модели пласта с опцией наземной сети.

Такая опция наземной сети (network) реализована в ПО Eclipse компании Schlumberger. Опция Network предназначена для установки переменных ограничений на устьевые давления (ТНР) по группам скважин, которые могут изменяться в процессе разработки пропорционально изменению суммарных дебитов групп в соответствии с выбранным способом учета потерь давления в трубах. Данная опция динамически вычисляет ограничения на устьевые давления (ТНР) скважины путем выравнивания расхода потоков и потерь давления в сети. Узловые давления групп в наземной сети определяются вычислением «балансировки сети» с использованием VFP-таблиц. Для этого используются итерационные процедуры для вычисления давлений на каждом узле (или группе) в сети, согласованной с расходами потоков групп и падениями давления в трубах.

В рамках данной опции существует 2 способа её задания: стандартный и расширенный (Таблица 1).

Таблица 1 – Возможности задания элементов сети в стандартной и расширенном способах

Элемент Network	Стандартный	Расширенный
Автоматические насосы/компрессоры	+	+
Газлифт	+	+
Многоуровневые компрессоры	-	+
Автоматические штуцера	-	+
Учёт мгновенных дебитов при заданных коэффициентах эксплуатации	-	+

Работа МКУ моделируется с помощью задания компрессора в узле между кустом и ближайшей узловой точкой по направлению к конечному узлу (Рисунок 1). Компрессоры в линиях потоков добычи в сети моделируются при помощи величины искусственного лифта (ALQ). Включение компрессора производится в условиях невыполнения правила группового дебита по кусту. Если группа не может достичь заданного дебита, симулятор просматривает сеть в поиске компрессора, приписанного данной группе. Полностью включенные компрессоры при этом игнорируются. Если группа имеет в своем распоряжении более одного компрессора, то первым выбирается компрессор с наименьшим номером в последовательности включения. Если это одноуровневый компрессор, он включается полностью. Если же это многоуровневый компрессор, его значение ALQ увеличивается по одному приращению за раз, пока либо не будет достигнуто заданное групповое значение дебита, либо компрессор не окажется полностью включенным. В итоге работа компрессора позволяет изменить ограничение по устьевому давлению на минимально возможное значение на скважинах куста, позволяя тем самым получить дополнительную добычу за счёт большего перепада давления между забоем и устьем скважины.

В отличие от стандартного способа задания МКУ, в расширенном также есть возможность использования многоуровневого компрессора – мощность такого компрессора динамически изменяется в зависимости от необходимости обеспечения правил групповой добычи. Мощность компрессора изменяется с помощью задания значений ALQ для максимального и минимального уровня в ключевом слове NETCOMPA, где также задаётся количество уровней. Также в ключевое слово должно быть включено слово MULT для определения МКУ в качестве автоматической [7]. Для моделирования потерь давления при работе МКУ на интервале МКУ-узловая точка задаётся VFP-таблица для компрессора.

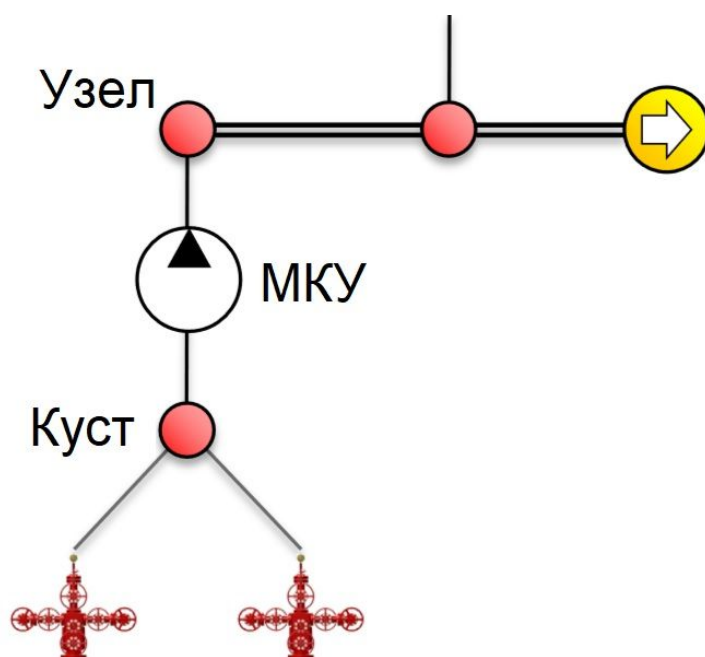


Рисунок 1 – Схема задания МКУ с помощью опции Network

Моделирование МКУ с помощью опции Network является упрощённым способом, т.к. все узлы моделируются одним способом, а потери учитываются только с помощью VFP-таблиц. Характеристики труб и материалов, способы и траектория прокладки, и т.д. никак не учитываются. В этом случае, в связке с моделью пласта используют модель газосборной сети – ГСС (т.н. интегрированная модель).

Для моделирования сети сбора компания Schlumberger выпускает ПО Pipesim, которое можно использовать совместно с моделью, созданной в Eclipse. Возможности данного продукта позволяют моделировать элементы ГСС в зависимости от их назначения, для чего существует ряд адаптированных решений. Сама сеть может моделироваться как схематично, так и с привязкой к реальному географическому положению её элементов.

Для моделирования работы МКУ в Pipesim используется элемент Compressor, который устанавливается как явно определённый узел между кустом и следующим вверх по потоку элементом [5, 6]. Для компрессора задаются следующие параметры:

- Тип (поршневой или центробежный)
- Давление на выходе
- Перепад давления на компрессоре
- Степень сжатия
- Мощность
- Модель расчёта (адиабатная, политропная, Молье)
- КПД компрессора

Также может задаваться кривая работы МКУ в виде табличных данных (Рисунок 2) [3].

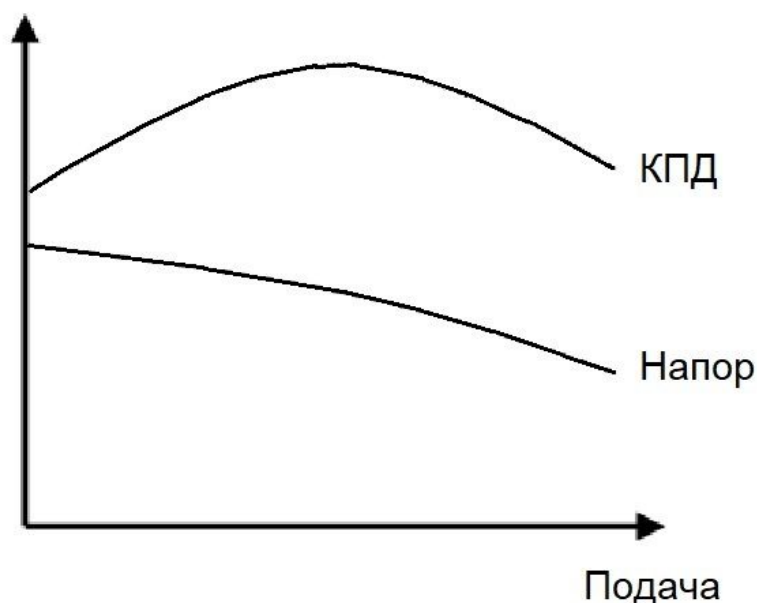


Рисунок 2 – Типовая характеристика насоса

Изменение давления газа и мощности, необходимой для запуска компрессора, можно определить из формул:

$$\Delta P = P_{out} - P_{in} = Head \cdot \bar{\rho} \quad (1)$$

$$Power = \frac{q \cdot Head}{\eta} \quad (2)$$

$$\bar{\rho} = \frac{[\rho(P_{in}, T_{in}) + \rho(P_{out}, T_{out})]}{2} \quad (3)$$

Где P_{out} – давление на выходе компрессора; P_{in} – давление на входе компрессора; $\bar{\rho}$ – средняя плотность газа; $Power$ – мощность компрессора; $Head$ – напор; T_{in} – температура на входе компрессора; T_{out} – температура на выходе компрессора

Температура на выходе зависит от того, какая часть энергии при работе компрессора переносится в флюид. Для этого используются адиабатная, политропная, Мольте модели расчёта.

Наряду с ПО Pipesim, с гидродинамическими моделями, созданными в Eclipse, может использоваться продукт GAP компании Petroleum Experts. Он предназначен для моделирования наземной сети. В своём составе он имеет специальный элемент Compressor для моделирования компрессорных устройств.

Так же, как и Pipesim, GAP обладает широким функционалом для моделирования работы МКУ. Наряду возможности моделирования различных типов компрессоров и расчёта по данным рабочей характеристики, он обладает возможностью контроля по одному из ключевых параметров: фиксированной мощности или фиксированному перепаду давления. В

основе расчёта характеристик МКУ фундаментальное уравнение для адиабатного процесса, используемое для корреляции напора и параметров на входе/выходе компрессора [4].

$$\Delta h = \frac{T_1 \cdot Z_a \cdot R}{\left(\frac{k-1}{k}\right) \cdot M \cdot W} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

Где $k = C_p/C_v$ – отношение теплоёмкости при постоянном давлении к теплоёмкости при постоянном объёме; Z_a – средняя сжимаемость газа на входе и на выходе компрессора; R – универсальная газовая постоянная; T_1 – температура на входе компрессора; P_1 и P_2 – давления на входе и выходе компрессора; W – мощность компрессора; M – средняя молекулярная масса газа.

Заключение

Для моделирования работы МКУ в наибольшей степени подходит оценка в рамках интегрированной модели в качестве специального элемента газосборной сети, обладающего рядом специальных надстроек. Опция Network позволяет моделировать процессы, влияющие на пласт со стороны газосборной сети, однако не учитывает ряд эффектов, влияющих на процессы транспорта углеводородов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ли Джеймс, Никенс Генро, Уэллс Майкл Эксплуатация обводняющихся газовых скважин. Технологические решения по удалению жидкости из скважин / Перевод с английского. – М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 2008. – 384 с., ил. (Промышленный инжиниринг).
2. Минликаев В.З., Дикамов Д.В., Арно О.Б., Меркулов А.В., Кирсанов С.А., Красовский А.В., Свентский С.Ю., Кононов А.В. Применение мобильных компрессорных установок на завершающей стадии разработки газовых залежей / «Газовая промышленность». 2015, № 1, - С. 15-17.
3. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. – 2 изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 стр., ил.
4. Petroleum Experts. GAP. General Allocation Program. User Guide. 2003.
5. Pipesim Fundamentals. Training and Exercise Guide. Version 2006.1. Schlumberger Information Solutions. 2007.
6. Pipesim 2015, Моделирование стационарного многофазного потока. Техническое описание. 2016.

7. Schlumberger ECLIPSE Technical Description, v.2014.1.